

SEBARAN FRAKSI AL PADA PROFIL TANAH MASAM LAHAN KERING DI KABUPATEN LEBAK PROVINSI BANTEN

*(The Distribution of Al fraction in the Profil of Acid Soil of the Dry Land in
Lebak Regency Banten Province)*

Putra Utama¹, Sri Ritawati¹, Dewi Firnia¹

**¹Staf Pengejar Jurusan Agroekoteknologi Fakultas Pertanian
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**

**Jalan Raya Jakarta KM 04, Pakupatan, Serang, Banten
Telp. 0254-280330, Fax. 0254-281254, e-mail: putra.utama@untirta.ac.id**

ABSTRACT

The toxicity of Al, Fe, and Mn is highly determined by the shape of the metal fractions. Therefore, the specific forms of Al, Fe, and Mn inside the soil are very important to know because they are related to soil fertility. The purpose of this study was to determine the distribution of the Al fraction on the acid soil profile of dry land in Lebak Regency, Banten Province. This research was conducted from April to June 2019 in Maja District, Lebak Regency, Banten. The research was descriptive explorative with intentional sampling for special purposive sampling. The soil was tested with a main parameter using single extraction for Al Fractionation. The results showed that the Al fraction in amorphous form (Al-o) was more dominant than Al in dissolved form (Al-dd) in all horizon layers (0-120 cm). Moreover, the Al fraction in organic amorphous form (Al-p) was also more dominant than Al in the inorganic amorphous form (Al-po) at horizon layer of 0-15 cm, while at horizon laeyer of 15-120 cm the Al-po form was higher than Al-p. Al fraction in the form of organic amorphous had higher bond compared with Al form of organic amorphous in the soil layer of 0-120 cm.

Keywords: Soil, Al fraction

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan daerah beriklim tropika basah (*humid tropics*) yang sebagian besar memiliki rejim suhu tanah isohipertemik, dengan curah hujan untuk sebagian wilayah > 2.000 mm/tahun dan musim hujan > 6 bulan. Curah hujan dan suhu tinggi dapat menyebabkan proses hancuran iklim (pelapukan) kimia berjalan sangat intensif sehingga basa-basa tanah (Ca, Mg, K, dan Na) dapat terlindi dan yang tersisa dalam kompleks adsorpsi lempung dan humus sebagian besar adalah ion H dan Al. Sebagai akibatnya terbentuk tanah bereaksi masam dengan kejenuhan basa rendah, dan memiliki kejenuhan aluminium tinggi (Hidayat *et al.*, 2000)

Di Indonesia luas lahan kering sekitar 148 juta ha dapat dikelompokkan menjadi lahan kering masam 102,8 juta ha dan lahan kering tidak masam seluas 45,2 juta ha, luasan lahan kering di Banten adalah seluas 691.653 ha yang terdiri dari lahan kering masam seluas 684.804 ha dan lahan kering iklim kering seluas 6.847 ha yang tersebar pada ordo *Entisols*, *Inceptisols*,

Ultisols, dan *Oxisols*. (Mulyani *et al.*, 2004).

Mengingat luasan dan sebarannya maka tanah mineral masam memiliki potensi besar untuk pengembangan usaha pertanian, walaupun terkendala dengan pH < 5,5 dan kejenuhan basa < 50%, oksida serta hidroksida Al dan Fe tinggi (Subagyo *et al.*, 2000). Lebih lanjut kation polivalen seperti Al, Fe, dan Mn akan berinteraksi dengan hara fosfor (P) yang menyebabkannya menjadi bentuk yang tidak tersedia (Parjono, 2019). Diperkirakan sekitar 50% dari tanah garapan dunia terkena dampak negatif oleh toksisitas Al di tanah asam (Panda *et al.*, 2009). Dinamika Al pada pertumbuhan tanaman tergantung pada spesiasi Al yang ada dalam larutan tanah. Spesiasi Al dalam larutan berbentuk Al^{3+} , $Al(OH)^{2+}$, $Al(OH)_2^+$, dan $Al(OH)_4^-$. Sejumlah penelitian telah dilaporkan bahwa ada berbagai bentuk Al di dalam tanah yaitu dalam bentuk monomer, polimer atau fase padat, dan konsentrasinya tergantung pada derajat dan waktu hidrolisis senyawa Al (Delhaize dan Ryan, 1995). Sebagian besar Al dikelompokkan

menurut ikatan organik atau ada di dalam bentuk tidak beracun, seperti aluminosilikat atau presipitat, dan toksisitas Al bisa muncul pada tanaman saat Al dilarutkan dalam tanah di bawah kondisi asam (Famoso *et al.*, 2010).

Toksisitas Al, Fe, dan Mn sangat ditentukan oleh bentuk-bentuk fraksi dari logam tersebut oleh sebab itu bentuk-bentuk spesifik Al, Fe, dan Mn dalam tanah sangat penting diketahui karena berkaitan dengan kesuburan tanah (Parjono, 2019). Di dalam tanah Al merupakan bagian dari lapisan/hedron liat yang bersangkutan. Selain itu Al yang lepas atau bebas, ada yang terikat dengan bahan organik dan sebagainya. Soon (1995) dalam Parjono (2019) menyatakan bahwa Al di dalam tanah dapat berada dalam bentuk (1) terlarut dalam larutan tanah atau dalam air pori tanah, (2) bebas terlarut dalam bentuk dapat ditukar, (3) terikat oleh bahan organik, (4) dalam bentuk hidroksi yang terjerap dalam bentuk interlayer, (5) dalam bentuk mineral sekunder yang amorf, dan (6) dalam bentuk mineral primer (aluminium silikat). Menurut Harder (2002)

bahwa pada pH di bawah 5,5 terjadi reaksi hidrolisis aluminium dari bentuk Al^{3+} menjadi $Al(OH)_3$.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sebaran fraksi Al pada profil tanah masam lahan kering di Kabupaten Lebak Provinsi Banten.

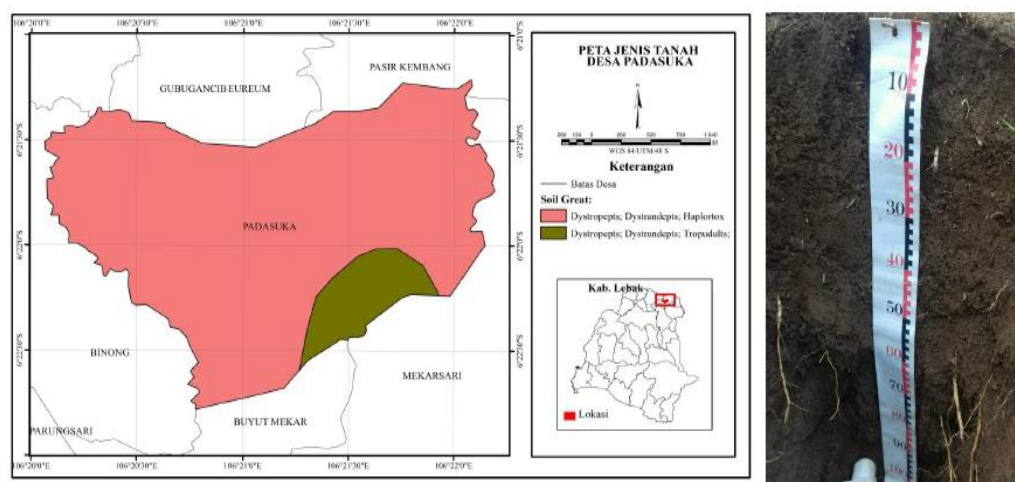
BAHAN DAN METODE

Penelitian telah dilakukan di lahan kering masam Kecamatan Maja Kabupaten Lebak, pada bulan April sampai November 2019. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah cangkul, pisau profil, alat ukur panjang, *coler box*, *ring sample*, bor tanah, GPS, *soil color char*, pH stik, sekop, kamera, alat untuk analisis di laboratorium. Sedangkan bahan yang dipergunakan adalah peta lokasi penelitian Kecamatan Maja Kabupaten Lebak, Data sekunder dari BPS Kabupaten Lebak, contoh tanah, kantong plastik, kertas lebel, buku, bahan kimia untuk analisis di laboratorium.

Penelitian lapangan dilakukan dengan pendekatan metode survei yang bersifat deskriptif eksploratif dengan pengambilan sampel secara sengaja untuk tujuan khusus (*purposive*

sampling). Dalam hal ini lokasi yang dipilih adalah di Kecamatan Maja Kabupaten Lebak Provinsi Banten (Gambar 1). Selanjutnya, dilakukan pembuatan profil sebanyak satu profil tanah dan dilakukan pencandraan dan identifikasi profil tanah (Tabel 1) dan pengambilan

contoh tanah terganggu sebanyak 500 g menggunakan pisau profil dan dimasukkan dalam kantong sampel terlabel pada seluruh horizon di profil tanah. Serangkaian pengujian laboratorium untuk parameter terpilih (*selected parameter*) dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 1. a. Peta lokasi penelitian b. Profil tanah

Tabel 1. Profil tanah lahan kering masam di Kecamatan Maja Kabupaten Lebak

| Uraian | |
|----------------------|--|
| Soil Taxonomy | Typic Hapluduts |
| Klasifikasi Nasional | Podsolik Haplik |
| Landform | Dataran Vulkan Tua |
| Bentuk Wilayah | Bergelombang (8-15%) |
| Penggunaan Lahan | Kebun campuran (bamboo, kecap, melinjo, rambutan) |
| Lokasi | Kp. Jati Ds, Padasuka, Kec. Maja, Kabupaten Lebak |
| Posisi Geografis | 06°21'52,9" LS; 106°21'12,2" BT |
| Lapisan | |
| Ap | 0-15 cm; coklat gelap kemerahan (5YR3/2) tekstur liat; konsistensi lekat dan plastis |
| Bt1 | 15-40 cm; coklat kemerahan (5YR 4/3), tekstur liat; konsistensi lekat dan plastis |
| Bt2 | 40-70 cm; merah pudar (2,5YR 4/4); tekstur liat; konsistensi lekat dan plastis |
| Bt3 | 70-120 cm; merah pudar (2,5YR 4/4); tekstur liat; konsistensi lekat dan plastis |

Tabel 2. Pengujian laboratorium beberapa parameter terpilih

| No | Sifat Tanah | Metode |
|----|--------------------------------------|--|
| 1 | pH (H ₂ O) | pH meter |
| 2 | pH (KCl) | pH meter |
| 3 | Corganik (%) | Walkley dan Black |
| 4 | N total (%) | Kjeldahl |
| 5 | K tersedia | Pengekstrak Bray I |
| 8 | K- dd | NH ₄ OAc, 1N, pH 7 |
| 9 | Ca- dd (cmol (+) kg ⁻¹) | NH ₄ OAc, 1N, pH 7 |
| 10 | Mg - dd (cmol (+) kg ⁻¹) | NH ₄ OAc, 1N, pH 7 |
| 11 | Na - dd (cmol (+) kg ⁻¹) | NH ₄ OAc, 1N, pH 7 |
| 12 | Kejenuhan Basa (%) | Penghitungan |
| 13 | Kejenuhan Al (%) | Penghitungan |
| 14 | KTK (me/100 g) | Pengekstrak 1M NH ₄ -Asetat pH 7,0 |
| 15 | Kelas tekstur | Pipet |
| 16 | Kadar Air | Gravimetrik |
| 17 | Fraksi Al | Metode Alvarez <i>et al.</i> (2002); Balittanah (2009) |

Tahapan pengujian tanah dengan parameter utama (*single extraction* untuk fraksionasi Al) sesuai dengan Metode Alvarez *et al.* (2002); dan Balittanah (2009)); yakni meliputi, ***Exchangeable (Al-exc)***

Contoh tanah kering udara seberat 5 g dilarutkan dalam 50 ml larutan KCl (pH 5,8) (rasio padatan:larutan (1:10)). Selanjutnya, dilakukan *shaking* selama 24 jam dan dilanjutkan dengan sentrifugasi selama 20 menit (13.500 rpm) untuk separasi ekstrak. Setelah itu, dengan menggunakan *milipore filter* 40 µm untuk purifikasi (apabila diperlukan). Lalu, supernatan disimpan untuk dapat dianalisis secara kuantitatif

menggunakan *visible spectrophotometry with pyrocatechol* (Dougan dan Wilson 1974 cit. Alvarez *et al.* (2002))
Total Non-Crystalline (Al-o)

Larutan asam oksalat dapat melarutkan senyawa aluminium yang aktif, yaitu senyawa-senyawa dalam bentuk amorf. Contoh tanah kering udara seberat 1 g dimasukkan ke dalam botol kocok berwarna gelap. Tambahkan 50 ml pengekstrak 0,2 M asam amonium oksalat (pH 3) dikocok 4 jam. Saring atau disentrifuse untuk mendapatkan supernatan. Supernatan diencerkan 20 kali dengan air bebas ion. Al dalam larutan encer diukur dengan

SSA menggunakan deret standar Al sebagai pembanding (deret standar: 0, 5, 10, 20, 30, 40, 50 ppm) (Balittanah 2009).

Total Inorganic Non-Crystalline (Al-o – Al-p)

Besaran dari fraksi Al- *total inorganic non-crystalline* merupakan hasil selisih dari besaran fraksi Al-o (*total non-crystalline*) dikurangi dengan fraksi Al-p (*total organically bound*).

Low- and Medium- Stability Complexes with Organic Matter (Al-cu)

Contoh tanah kering udara seberat 5 g dilarutkan dalam 50 ml larutan 0,5 M CuCl_2 (rasio padatan:larutan (1:10)). Selanjutnya, dilakukan *shaking* selama 2 jam dan dilanjutkan dengan sentrifugasi selama 20 menit (13.500 rpm) untuk separasi ekstrak. Setelah itu, dengan menggunakan *milipore filter* 40 μm untuk purifikasi (apabila diperlukan). Lalu, supernatan disimpan untuk dapat dianalisis secara kuantitatif menggunakan *visible spectrophotometry with pyrocatechol* (Dogan dan Wilson 1974 dalam Alvarez *et al.* (2002)

High-Stability Complexes with Organic Matter (Al-p – Al-cu)

Besaran dari fraksi Al- *high-stability complexes with organic matter* merupakan hasil selisih dari besaran fraksi Al-p (*total organically bound*) dikurangi dengan fraksi Al-cu (*low- and medium- stability complexes with organic matter*).

Total Organically Bound (Al-p)

Contoh tanah kering udara seberat 1 g dilarutkan dalam 20 ml larutan 0,05 M $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ (rasio padatan:larutan (1:20)). Selanjutnya, dilakukan *shaking* selama 24 jam dan dilanjutkan dengan sentrifugasi selama 20 menit (13.500 rpm) untuk separasi ekstrak. Setelah itu, dengan menggunakan *milipore filter* 40 μm untuk purifikasi (apabila diperlukan). Lalu, supernatan disimpan untuk dapat dianalisis secara kuantitatif menggunakan *visible spectrophotometry with pyrocatechol* (Dogan dan Wilson 1974 dalam Alvarez *et al.* (2002).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Sifat Kimia Tanah Masam

Data analisis sifat-sifat kimia dari profil tanah masam disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakterisasi sifat kimia tanah masam

| Lokasi | Horison | Kedalaman (cm) | pH | | C-organik (%) | Total N (%) | P tersedia (ppm) | K tersedia (ppm) | Ca-dd cmol/Kg | Mg-dd cmol/Kg | Na-dd cmol/Kg | K-dd cmol/Kg | KB (%) | KTK ppm | H-dd cmol/Kg | Tekstur | | |
|--------|---------|-------------------|------------------|------|------------------|----------------|---------------------|---------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------|------------|-----------------|---------|-------|-------|
| | | | H ₂ O | KCl | | | | | | | | | | | | Pasir | Debu | Liat |
| Lebak | Ap | 0-15 | 4.46 M | 3.72 | 1.58 R | 0.14 R | 3.42 SR | 21.25 S | 0.19 SR | 0.47 R | 0.24 R | 0.19 R | 6.34 SR | 17.20 S | 0.57 | 25.32 | 12.08 | 62.60 |
| | Bt1 | 15-40 | 4.51 M | 3.75 | 1.14 R | 0.11 R | 3.24 SR | 20.00 R | 0.21 SR | 0.51 R | 0.17 R | 0.10 R | 4.39 SR | 22.80 S | 0.47 | 19.03 | 14.05 | 66.92 |
| | Bt2 | 40-70 | 4.22 M | 3.72 | 0.92 SR | 0.10 R | 3.60 SR | 17.50 R | 0.26 SR | 0.57 R | 0.22 R | 0.22 R | 5.76 SR | 22.00 S | 0.81 | 18.46 | 11.32 | 70.22 |
| | Bt3 | 70-120 | 4.53 M | 3.74 | 0.86 SR | 0.08 SR | 3.78 SR | 18.75 R | 0.50 SR | 0.61 R | 0.18 R | 0.11 R | 6.86 SR | 20.40 S | 0.67 | 18.13 | 14.42 | 67.45 |

Keterangan: M: Masam, SR: Sangat rendah, R: Rendah, S: Sedang, T: Tinggi

Secara umum pH di tempat penelitian mempunyai kecenderungan meningkat dengan bertambahnya kedalaman horison. Hal ini disebabkan meningkatnya kandungan basa-basa tanah yang terlihat dari semakin meningkatnya kandungan Ca dan Mg dengan semakin bertambahnya kedalaman tanah. Peningkatan Ca dan Mg ke lapisan yang lebih bawah tidak lepas dari proses pencucian yang terjadi akibat tingginya curah hujan. Berdasarkan data curah hujan di Kabupaten Lebak diketahui tinggi curah hujan dari tahun 1993-2014 mencapai 2170 mm/tahun (Prasetyawan, 2015). Menurut Sungkono (2010) curah hujan yang tinggi dapat menyebabkan pencucian basa-basa tanah seperti Ca, Mg, K, dan Na. Lebih lanjut dengan

meningkatnya pH akan mempengaruhi ketersediaan fosfor (P) dari hasil analisis ketersediaan P (Tabel 3).

Kandungan C-organik, N-total dan K-tersedia mulai dari lapisan Ap ke lapisan Bt3 menunjukkan pola yang sama yaitu terjadi penurunan seiring dengan bertambahnya kedalam tanah. Hal ini disebabkan oleh bahan organik yang berasal dari tanaman yang tumbuh di atasnya dan pengolahan lahan. Keadaan ini merupakan hal umum, di mana kandungan C-organik pada lapisan atas lebih tinggi dari pada di lapisan bawah. Alvaro-Fuentes *et al.* (2008), serta Blanco dan Lal (2008) menyatakan bahwa kandungan bahan organik tanah sangat dipengaruhi oleh intensitas dan tipe pengelolaan lahan. Stabilitas

bahan organik pada tanah berpelapukan lanjut, secara fisik terlindungi pada pori meso, dan secara kimia melalui ikatan kation (Anda *et al.*, 2008).

Kapasitas tukar kation (KTK) di daerah penelitian tergolong sangat rendah. Kapasitas tukar kation sangat dipengaruhi oleh jenis dan jumlah koloid mineral liat, kandungan liat dan bahan organik. Secara umum diketahui bahwa pada Ultisol jenis koloid yang dominan adalah koloid tipe 1:1 (kaolinit) yang mempunyai KTK yang rendah.

Fraksionasi Aluminium pada Tanah Masam

Hasil analisis fraksionasi konsentrasi dan persentase fraksi Al di setiap horizon tanah masam disajikan dalam Tabel 4. Profil Lebak pada kedalaman 0-15 cm (Ap) lebih terakumulasi Al-p dengan Al amorf organik yang berikatan kuat, kedalaman 15-40 (Bt1), 40-70 (Bt2) dan 70-120 cm (Bt3) lebih terakumulasi Al amorf inorganik (Al-po).

Berdasarkan Tabel 4 konsentrasi fraksi Al-dd di Lebak meningkat secara fluktuatif berdasarkan kedalaman horizon tanah. Konsentrasi Al-dd di Lebak konsentrasi Al-dd 8,09- 11,49%. Fraksi Al-o merupakan total aluminium yang berikatan dengan senyawa amorf organik maupun inorganik dalam tanah. Fraksi Al-o merupakan total dari fraksi aluminium amorf organik (Al-o) dan aluminium amorf inorganik (Al-po). Konsentrasi Al-o di Lebak 88,51- 91,91% dengan distribusi meningkat secara fluktuatif di kedalaman horizon tanah. Tingginya kadar Al-o mencerminkan tingginya kadar bahan amorf. Menurut Wada (1986) fraksi Al-o terdapat dalam bentuk amorf dan juga dalam bentuk Al humus. Fraksi Al-p merupakan bentuk aluminium yang berikatan dengan senyawa-senyawa amorf organik dalam tanah. Konsentrasi Al-p di lahan Lebak konsentrasi Al-p 32,35-45,98% dengan distribusi menurun secara fluktuatif di kedalaman horizon tanah.

Tabel 4. Konsentrasi fraksi Al pada tiap horison tanah masam

| Lokasi lahan | Kedalaman (cm) | Horizon Tanah | Fraksi | | | | | | | | | | | |
|--------------|----------------|---------------|--------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|--------|-------|
| | | | Al-dd | | Al-o | | Al-o | | | | Al-p | | | |
| | | | | | | | Al-p | | Al-po | | Al-Cu | | Al-pCu | |
| | | | ppm | % | ppm | % | ppm | % | ppm | % | ppm | % | ppm | % |
| Lebak | 0-15 | Ap | 1000 | 11.49 | 7700 | 88.51 | 4000 | 45.98 | 3700 | 42.53 | 566 | 6.51 | 3434 | 39.47 |
| | 15-40 | Bt1 | 1400 | 9.93 | 12700 | 90.07 | 4800 | 34.04 | 7900 | 56.03 | 668 | 4.74 | 4132 | 29.30 |
| | 40-70 | Bt2 | 1200 | 11.32 | 9400 | 88.68 | 4400 | 41.51 | 5000 | 47.17 | 592 | 5.58 | 3808 | 35.92 |
| | 70-120 | Bt3 | 1100 | 8.09 | 12500 | 91.91 | 4400 | 32.35 | 8100 | 59.56 | 510 | 3.75 | 3890 | 28.60 |

Keterangan: Al-dd= dapat ditukar, Al-o= Al amorf, Al-p= Al amorf organik, Al-po= Al amorf inorganik, Al-Cu = Al amorf organik yang berikatan lemah hingga sedang, Al-pCu= Al amorf organik yang berikatan kuat.

Fraksi Al-po merupakan bentuk amorf inorganik dalam tanah, yaitu selisih dari fraksi aluminium amorf (Al-o) dengan aluminium amorf organik (Al-p) dalam tanah. Konsentrasi fraksi Al-po di lahan Lebak 42,53-59,56% dengan distribusi meningkat fluktuatif di kedalaman horizon tanah. Hal ini dipengaruhi oleh jumlah bahan organik dan tekstur dalam tanah

Fraksi Al-Cu merupakan bentuk aluminium berikatan lemah hingga sedang dengan senyawa organik. Konsentrasi fraksi Al-Cu di lahan Lebak konsentrasi Al-Cu 3,75-6,51% dengan distribusi menurun secara fluktuatif di kedalaman horizon tanah. Fraksi Al-Cu berhubungan erat dengan bahan organik dalam tanah, semakin dalam

horizon tanah kandungan organiknya semakin rendah sehingga konsentrasi Al-Cu semakin rendah. Menurut Drabek *et al.* (2003), pada tanah dengan adanya kandungan C-organik yang tinggi maka fraksi Al-p dan Al-Cu akan meningkat. Fraksi Al-pCu merupakan bentuk-bentuk aluminium yang berikatan kuat dengan senyawa-senyawa organik dalam tanah (Urrutia *et al.*, 1988 dalam Alvarez *et al.*, 2002). Fraksi Al-pCu merupakan selisih dari Al-p dengan Al-Cu. Konsentrasi fraksi Al-pCu di lahan Lebak 28,60-39,47% dengan distribusi menurun fluktuatif di kedalaman horizon tanah. Hal ini menunjukkan semakin dalam horizon tanah bentuk Al-pCu semakin rendah karena bahan organik semakin rendah dalam

horison tanah. Suharta dan Prasetyo (2008) menyatakan bahwa tekstur tanah berpengaruh terhadap kejenuhan Al, semakin tinggi kandungan fraksi liatnya, kejenuhan Al semakin meningkat. Selain kandungan fraksi liat yang berpengaruh terhadap kejenuhan Al, jenis mineral liat seperti vermikulit yang terdapat dalam tanah masam tidak stabil dan dalam proses pelapukannya akan membebaskan sejumlah Al ke dalam tanah sehingga kandungan Al dalam tanah meningkat.

SIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Fraksi Al dalam bentuk amorf (Al-o) lebih mendominasi dibandingkan dengan Al dalam bentuk terlarut (Al-dd) pada semua lapisan horizon (kedalaman 0-120 cm).
2. Fraksi Al dalam bentuk amorf organik (Al-p) lebih mendominasi dibanding Al dalam bentuk amorf anorganik (Al-po) pada kedalaman horizon (0-15 cm), tetapi pada kedalaman 15-120 cm bentuk Al-po lebih tinggi dibanding Al-p.

3. Fraksi Al dalam bentuk amorf organik yang berikatan kuat lebih tinggi dibanding Al bentuk amorf organik yang berikatan lemah sampai sedang pada kedalaman tanah 0-120 cm.

SARAN

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang sebaran fraksi logam lain yang terdapat pada lapisan profil tanah masam lahan kering di Kabupaten Lebak Provinsi Banten.

DAFTAR PUSTAKA

- Alvarez, E., Fernandez-Sanjurjo, M., Nunez, A., Seco, N., Corti, G. 2012. Aluminium Fractionation and Speciation in Bulk and Rhizosphere of a Grass Soil Amended with Mussel Shells or Lime. *Geoderma* 173: 322-329.
- Alvaro-Fuentes, J., M.V., Lopez, C., CanteroMartinez, and J.L. Arrue. 2008. Tillage Effects on Soil Organic Carbon Fractions in Mediterranean Dryland Agroecosystems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72(2): 541-547.
- Anda, M., J. Shamsuddin, I.C. Fauziah, and S.R. Syed Omar. 2008. Pore Space and Specific Surface Area of Heavy Clay Oxisols as Affected by Their Mineralogy and Organic

- Matter. *Soil Sci.* 173(8): 560-574.
- Balittanah (Balai Penelitian Tanah) 2009. Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk: Petunjuk Teknis Edisi 2. Bogor.
- Blanco, H., and C.R. Lal. 2008. No-Tillage and Soil-Profile Carbon Sequestration: an on-Farm Assessment. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 27(3): 693-701.
- Drabek, O., Boruvka, L., Mladkova, L., & Kocarek, M. 2003. Possible Method of Aluminium Speciation in Forest Soils.. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 97, 8-15. doi:10.1016/S0162-0134(03)00259-9.
- Famoso, A.N., Clark, R.T., Shaff, J.E., Craft, E., McCouch, S.R., & Kochian, L.V. 2010. Development of a Novel Aluminum Tolerance Phenotyping Platform Used for Comparisons of Cereal Aluminum Tolerance and Investigations Into Rice Aluminum Tolerance Mechanisms. *Plant Physiology*, 153, 1678-1691. doi:10.1104/pp. 110.156794.
- Harder, R.D. 2002. Acid Soils of the Tropics. An Echo Technical Note Leiwakabessy, F.M., U.
- Mulyani, A., Hikmatullah, dan H. Subagyo. 2004. Karakteristik dan Potensi Tanah Masam Lahan Kering di Indonesia. hlm. 1-32 dalam Prosiding Simposium Nasional Pendayagunaan Tanah Masam. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Parjono. 2019. Hubungan Fraksi Al, Fe, dan Mn dengan Fraksi Fosfor pada Profil Tanah Hutan, Wanatani, dan Tegalan. Desertasi. Sekolah Pascasarjana IPB. Bogor.
- Prasetyawan, T. 2015. Pengaruh Perubahan Iklim Terhadap Ketersediaan Air Baku PDAM Kabupaten Lebak. Aspirasi Vol. 6 No. 1. Pusat Pengkajian Pengolahan Data dan Informasi. Sekretaris Jenderal DPR RI. Jakarta.
- Subagyo, H., Suharta, N., Siswanto, A.B. 2000. *Tanah Tanah Pertanian di Indonesia. Sumberdaya Lahan Indonesia dan Pengelolaannya*. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian. Hal. 21-65.
- Suharta, N., dan B.H. Prasetyo. 2008. Susunan Mineral dan Sifat Fisiko-Kimia Tanah Bervegetasi Hutan dari Batuan Sedimen Masam di Provinsi Riau. *Jurnal Tanah dan Iklim* 28: 1-14.